

10/532422

22 APR 2005

PCT/JP03/11961

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

20.10.03

RECEIVED

04 DEC 2003

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年10月23日

出願番号  
Application Number: 特願2002-308946  
[ST. 10/C]: [JP2002-308946]

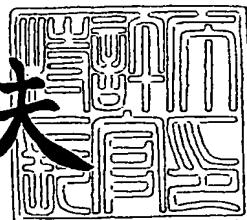
出願人  
Applicant(s): 科学技術振興事業団

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

2003年11月20日

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 MP021015

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

【住所又は居所】 三重県四日市市河原田町2220

【氏名】 前田 佳伸

【特許出願人】

【識別番号】 396020800

【氏名又は名称】 科学技術振興事業団

【代理人】

【識別番号】 100085361

【弁理士】

【氏名又は名称】 池田 治幸

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007331

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光信号増幅3端子装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力された光を増幅および波長変換して出力するための第1光増幅素子および第2光増幅素子と、

第1波長の第1入力光と第2波長の第2入力光とを前記第1光増幅素子に入力させる第1光入力手段と、

前記第1増幅素子からの光から前記第2波長の光を選択する第1波長選択素子と、

該第2波長選択素子により選択された第2波長の光と第3波長の第3入力光とを前記第2光増幅素子へ入力させる第2光入力手段と、

該第2光増幅素子からの光から第3波長の出力光を選択する第2波長選択素子とを、含み、

前記第3波長の出力光は、前記第1波長の第1入力光および／または第3波長の第3入力光の強度変化に応答して変調され、且つ前記第3波長の第3入力光に対する信号増幅率が2以上であることを特徴とする光信号増幅3端子装置。

【請求項2】 前記第1波長の第1入力光は変調光であり、前記第2波長の第2入力光は連続光であり、前記第3波長の第3入力光は制御光であり、前記第3波長の出力光は、該制御光の入力区間において該第1入力光の変調信号が増幅された信号波形を備えたものである請求項1の光信号増幅3端子装置。

【請求項3】 第1波長の第1入力光および第2波長の第2入力光は連続光であり、前記第3波長の第3入力光は変調光であり、前記第3波長の出力光は、該第3波長の第3入力光の変調信号が増幅された信号波形を備えたものである請求項1の光信号増幅3端子装置。

【請求項4】 前記第3波長は、前記第1波長と同じ波長である請求項1乃至3のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項5】 前記第2波長は、前記第1波長および第3波長よりも長波長である請求項1乃至4のいずれかの光信号増幅3端子装置。

【請求項6】 前記第3波長の出力光の前記第3波長の制御光に対する信号増幅

率は、10以上である請求項1乃至5のいずれかの光信号増幅3端子装置。

**【請求項7】** 前記第1光増幅素子および第2光増幅素子は、p n接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子である請求項1乃至6のいずれかの光信号増幅3端子装置。

**【請求項8】** 前記半導体光増幅素子の活性層は、量子井戸、歪み超格子、または量子ドットから構成されたものである請求項7の光信号増幅3端子装置。

**【請求項9】** 前記半導体光増幅素子は、前記活性層を通過した光を反射するための反射手段をその一端面に備え、他端面を通して入力光が入力され且つ出力光が取り出されるものである請求項7または8の光信号増幅3端子装置。

**【請求項10】** 前記第2波長の第2入力光を発生させる発光素子は半導体レーザである請求項1乃至9のいずれかの光信号増幅3端子装置。

**【請求項11】** 前記半導体光増幅素子の他端面を通して前記半導体光増幅素子内に入力光を入力させ、該他端面を通して該半導体光増幅素子内から出力される光を該入力光とは異なる光路へ導く光サーキュレータまたは方向性結合素子が設けられたものである請求項1乃至10のいずれかの光信号増幅3端子装置。

**【請求項12】** 前記第1波長選択素子および/または第2波長選択素子は、導波路内の光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトニックバンドギャップを有するフォトニッククリスタルのいずれかから構成されたものである請求項1乃至11のいずれかの光信号増幅3端子装置。

**【請求項13】** 前記第1光増幅素子および第2光増幅素子は、希土類元素が添加された光ファイバ増幅素子から構成されたものである請求項1乃至6のいずれかの光信号増幅3端子装置。

**【請求項14】** 前記第1光増幅素子において、前記第2波長は前記第1波長の第1入力光の周囲光の波長域内の波長であり、前記第2光増幅素子において、前記第3波長は、前記第2波長光の入力光の周囲光の波長域内の波長である請求項1乃至13のいずれかの光信号増幅3端子装置。

**【請求項15】** 前記光信号増幅3端子装置は、光NANDゲート、光NORゲート、光フリップフロップ回路、または光演算増幅器を構成するものである請求

項1乃至14のいずれかの光信号増幅3端子装置。

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

##### 【産業上の利用分野】

本発明は、光信号を増幅、制御、或いはスイッチングする光信号増幅3端子装置、特に、高度情報処理が可能な光通信、光画像処理、光コンピュータ、光計測、光集積回路などの光エレクトロニクスに好適な光信号増幅装置に関するものである。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

広帯域且つ高速伝送が可能な光ファイバ通信を用いた動画像通信や映像の分配といった広帯域な新サービスの広範な展開が期待されている。しかしながら、たとえばエレクトロニクスで言えば3端子のトランジスタに相当するような機能（信号増幅作用）素子、すなわち光信号を他の光信号で直接制御して信号増幅するような光機能素子は、未だ、実現されていない。

#### 【0003】

このため、折角、高速で伝送した光信号を一旦電気信号に変換し、電子回路において情報処理が行われ、処理後の信号を再度光に変換して伝送するというのが実情である。したがって、光を光で直接制御することができないので、信号処理の高速性に限界があった。光信号のまま信号処理ができる場合には、並列処理が可能であると言われており、一層の処理時間の短縮化が期待できるのである。

#### 【0004】

これに対し、非特許文献1或いは非特許文献2に記載されている装置は、光をスイッチングする装置、マッハツエンダー型光干渉による波長変換などを利用したゲートスイッチング装置に過ぎず、これらは、温度変化、振動に弱く、設定が厳しいという不都合があった。このような従来技術は、電子回路におけるトランジスタのように、入力光を制御光を用いて信号増幅された出力光を得る機能を備えた光信号増幅3端子装置を構成する点については何ら開示されていない。

#### 【0005】

【非特許文献1】 K. E. Stubkjaer, "Semiconductor optical amplifier-based all-optical gates for high-speed optical processing," IEEE J. Quantum Electron., vol. 6, no. 6, pp. 1428-1435, Nov./Dec. 2000

【非特許文献2】 T. Durhuus, C. Joergensen, B. Mikkelsen, R. J. S. Pedersen, and A. E. Stubkjaer, "All optical wavelength conversion by SOAs in a Mach-Zender configuration," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 6, pp. 53-55, Jan. 1994

### 【0006】

#### 【発明が解決しようとする課題】

本発明は以上の事情を背景として為されたものであり、その目的とするところは、光信号の增幅処理を制御光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置を提供することにある。

### 【0007】

本発明者は、以上の事情を背景として種々の検討を重ねた結果、半導体光増幅素子や希土類元素添加ファイバアンプなどの光増幅素子において、所定波長 $\lambda_1$ の入力光の周囲波長の自然放出光が、その入力光の強度変化に応答して強度変化し、その変化は入力光の信号強度変化に対して逆の強度変化をする点、および、その自然放出光の波長域内すなわち入力光の周囲波長域内の他の波長 $\lambda_2$ のレーザ光を上記入力光に重畳させて入射させると、上記自然放出光の信号（振幅）変化は維持されつつ、全体の強度が急激に増加するという現象すなわちレーザ誘導光信号増強効果（Laser-induced signal enhancement effect）を見い出した。また、本発明者は、この現象を、波長 $\lambda_1$ から $\lambda_2$ への波長変換機能としても把握し、その波長変換を2段接続するタンデム波長変換素子に基づく光3端子装置（All-Optical Triode Based on Tandem Wavelength Converter）を着想し、光信号増幅3端子装置を見いだした。本発明はかかる知見に基づいて為されたものである。

### 【0008】

#### 【課題を解決するための手段】

すなわち、本発明の要旨とするところは、(a) 入力された光を増幅および波長

変換して出力するための第1光増幅素子および第2光増幅素子と、(b) 第1波長の第1入力光と第2波長の第2入力光とを前記第1光増幅素子に入力させる第1光入力手段と、(c) 前記第1増幅素子からの光から前記第2波長の光を選択する第1波長選択素子と、(d) その第2波長選択素子により選択された第2波長の光と第3波長の第3入力光とを前記第2光増幅素子へ入力させる第2光入力手段と、(e) その第2光増幅素子からの光から第3波長の出力光を選択する第2波長選択素子とを、含み、(f) 前記第3波長の出力光は、前記第1波長の第1入力光および／または第3波長の第3入力光の強度変化に応答して変調され、且つ前記第3波長の第3入力光に対する信号増幅率が2以上であることがある。

#### 【0009】

##### 【発明の効果】

このようにすれば、第1波長の第1入力光と第2波長の第2入力光とが入力された第1光増幅素子からの光から選択された第2波長の光と、第3波長の第3入力光とが第2光増幅素子へ入力させられるとき、その第2光増幅素子から出された光から選択された第3波長の出力光は、前記第1波長の第1入力光および／または第3波長の第3入力光の強度変化に応答して変調された光であって、前記第3波長の第3入力光に対する信号増幅率が2以上の大きさの増幅信号となるので、光信号の増幅処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置を得ることができる。

#### 【0010】

##### 【発明の他の態様】

ここで、好適には、前記第1波長の第1入力光は変調光であり、前記第2波長の第2入力光は連続光であり、前記第3波長の第3入力光は制御光であり、前記第3波長の出力光は、その制御光の入力区間においてその第1入力光の変調信号が増幅された信号波形を備えたものである。このようにすれば、第3波長の出力光は、制御光の入力区間において前記第1波長の第1入力光の強度変化に応答して変調された増幅光となるので、増幅された光信号のスイッチング処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置を得ることができる。

#### 【0011】

また、好適には、第1波長の第1入力光および第2波長の第2入力光は連続光であり、前記第3波長の第3入力光は変調光であり、前記第3波長の出力光は、該第3波長の第3入力光の変調信号が増幅された信号波形を備えたものである。このようにすれば、第3波長の出力光は、第3入力光の強度変化に応答して変調された増幅光となるので、光信号の増幅処理を第3入力光を入力させることにより直接行うことができる光信号増幅3端子装置を得ることができる。

#### 【0012】

また、好適には、前記第3波長は、前記第1波長と同じ波長である。このようにすれば、光信号増幅3端子装置の信号入力光としての第1入力光及び第3入力光と、出力光とが同じ波長となるので、共通の波長で複数の光信号増幅3端子装置を接続することが可能となり、複数個の光信号増幅3端子装置を用いて集積度の高い光回路を構成することができる。

#### 【0013】

また、好適には、前記第2波長は、前記第1波長および第3波長よりも長波長である。このようにすれば、変調された第1入力光の増幅光である出力光が示す波形が、その第1入力光の波形の基線と同様に零レベルに近い基線となる利点がある。すなわち出力光の変調度が高められる。

#### 【0014】

また、好適には、前記第3波長の出力光の前記第3波長の制御光に対する信号増幅率は、10以上の値である。このようにすれば、光信号増幅3端子装置の信号増幅率が一層高められる。

#### 【0015】

また、好適には、前記第1光増幅素子および第2光増幅素子は、p-n接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子である。このようにすれば、p-n接合から構成される活性層を備えた半導体光増幅素子が用いられるので、小型化されるとともに、信号増幅率が一層高められる。

#### 【0016】

また、好適には、前記半導体光増幅素子の活性層は、量子井戸または量子ドット

トから構成されたものである。このようにすれば、量子井戸または量子ドットから構成される活性層を備えた半導体光増幅素子が用いられるので、高速応答が可能となる。特に量子ドットを用いた場合には 100 GHz 以上の応答速度が得られる。また、活性層として歪み超格子を用いると偏波依存性が小さくなる。

#### 【0017】

また、好適には、前記半導体光増幅素子は、前記活性層を通過した光を反射するための反射手段をその一端面に備え、他端面を通して入力光が入力され且つ出力光が取り出されるものである。このようにすれば、1 端面に備えられた反射手段によって活性層における通過路が実質的に長くされるので、信号増幅率が一層高められる。また、フィードバック効果によって、出力信号の変調度が一層高められる。

#### 【0018】

また、好適には、前記第1光増幅素子および第2光増幅素子は半導体レーザから構成される。このようにすれば、光信号増幅3端子装置が一層小型となる。

#### 【0019】

また、好適には、前記半導体光増幅素子の他端面を通して前記半導体光増幅素子内に入力光を入力させ、その他端面を通して該半導体光増幅素子内から出力される光を該入力光とは異なる光路へ導く光サーチュレータまたは方向性結合素子が設けられたものである。このようにすれば、半導体光増幅素子の他端面から出た光はその他端面へ入力させる光を導く導波路に入ることなく、専ら他の出力用導波路に導かれる。

#### 【0020】

また、好適には、前記第1波長選択素子および／または第2波長選択素子は、導波路または光ファイバ内の光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトニックバンドギャップを有するフォトニッククリスタルのいずれかから構成されたものである。このようにすれば、第1光増幅素子或いは第2光増幅素子からの光から第2波長或いは第3波長が好適に抽出される。

#### 【0021】

また、好適には、前記第1光増幅素子および／または第2光増幅素子は、希土類元素が添加された光ファイバ増幅素子から構成されたものである。このようによれば、第1光増幅素子および／または第2光増幅素子が光ファイバから構成されるので、光を伝播させる光ファイバの途中に前記第1光増幅素子および／または第2光増幅素子が構成される利点がある。

#### 【0022】

また、好適には、前記第1光増幅素子において、前記第2波長は前記第1波長光の周囲光の波長域内の波長であり、前記光増幅素子において、前記第3波長は、前記第2波長光の周囲光の波長域内の波長である。このようによれば、第1光増幅素子或いは第2増幅素子からの出力光に含まれる第2波長或いは第3波長の信号が好適に増幅される。

#### 【0023】

また、好適には、前記光信号増幅3端子装置は、光NANDゲート、光NORゲート、光フリップフロップ回路、または光演算増幅器を構成するものである。このようによれば、光デジタル回路、または光アナログ回路が前記光信号増幅3端子装置から好適に構成される。

#### 【0024】

##### 【実施例】

以下、本発明の一実施例の光信号増幅3端子装置10を図面に基づいて詳細に説明する。

#### 【0025】

図1において、第1レーザ光源12は、たとえば1555nmの第1波長 $\lambda_1$ の第1レーザ光（第1入力光）L<sub>1</sub>を出力し、第1光変調器14が設けられた光ファイバF<sub>1</sub>を介して伝播させる。第2レーザ光源16は、たとえば1548nmの第2波長 $\lambda_2$ の第2レーザ光（第2入力光）L<sub>2</sub>を一定の強度で連続的に出し、第2光ファイバF<sub>2</sub>を介して伝播させる。上記第1レーザ光源12はたとえば可変波長半導体レーザが用いられるが、第2レーザ光源16はたとえば单一波長の半導体レーザが用いられる。上記第1光変調器14は、図示しない信号発生器からの電気信号或いは光信号に従って、たとえば図3の上段の波形に示すよう

に、その電気信号或いは光信号の周波数のパルス信号となるように通過光である第1レーザ光L<sub>1</sub>をパルス変調する。第1光カプラ18は、第1光入力手段として機能するものであり、上記光ファイバF<sub>1</sub>および光ファイバF<sub>2</sub>を光ファイバF<sub>3</sub>へ接続し、それら光ファイバF<sub>1</sub>および光ファイバF<sub>2</sub>を伝播してきた第1レーザ光L<sub>1</sub>および第2レーザ光L<sub>2</sub>を重畠（合波）し、第3光ファイバF<sub>3</sub>および第1光サーキュレータ20を介して第1光増幅素子26へ入力させる。

### 【0026】

上記第1光増幅素子26は、たとえば図2に示す、半導体光増幅素子（SOA）から構成される。図2において、化合物半導体たとえばインジウム燐（InP）から構成される半導体基板26aの上に形成された光導波路26bは、その半導体基板26aの上にエピタキシャル成長させられたIII-V族混晶半導体の多層膜であり、たとえばホトリソグラフィーを用いて所定幅のテープ状突起となるよう形成されている。この光導波路26bは、半導体基板26aよりも屈折率が高い物質で構成されているので、光を厚み方向に閉じ込めつつ伝播させる機能を備えている。上記光導波路26b内の多層膜には、pn接合により構成された活性層26c、キャップ層などが含まれ、その上には上部電極26eが固着されている。この活性層26cは、半導体基板26aの下面に固着された図示しない電極と上記上部電極26eとの間に電圧が印加され且つ上記pn接合に電流が流れることによって電子・正孔対が形成され、その活性層26cを通過する光が誘導放射作用によって増幅されるようになっている。上記活性層26cは、多重量子井戸、歪み超格子、或いは量子ドットから構成されている。多重量子井戸である場合は、たとえば、InP半導体基板26aからエピタキシャル成長させられることにより格子整合されたInGaAs（100Åの厚み）とInGaAsP（100Åの厚み）との6対により構成され、その活性層26cの上には、組成（屈折率）が段階的に変化させられたグリン（GRIN）構造のガイド層（2000Å）が順次設けられている。この活性層26cのデバイス長（光路長さ）は600μmであり、たとえば250mAの電流値によるエネルギー注入によって注入された電子が通過する光子による誘導放射によって価電子帯へ移動させられるときに光エネルギーを放出して通過光を増幅させると考えられている。この250

mAの電流値によるエネルギー注入により、たとえば波長1555nmにおいて20dB程度の利得が得られる。

#### 【0027】

前記第1光増幅素子26は、スパッタリングなどによって光を反射する処理が施された鏡などの反射手段26dをその1端面に備えているため、その1端面とは反対側に位置する他端面を通して光入力或いは光出力が行われるようになっている。したがって、前記第1レーザ光L<sub>1</sub>および第2レーザ光L<sub>2</sub>の合波光は、上記他端面を通して第1光増幅素子26内に入力されるとともに、上記反射手段26dに反射された光は再びその他端面を通して出力される。この第1光増幅素子26の活性層26c内では、上記第1レーザ光L<sub>1</sub>の入射によってその波長λ<sub>1</sub>を中心とする周囲波長の自然光が発生し、その自然光は第1レーザ光L<sub>1</sub>の強度変調に反比例して強度が増減する。この状態においてその自然光の波長範囲内にある第2波長λ<sub>2</sub>の第2レーザ光L<sub>2</sub>が通過させられると、その第2波長λ<sub>2</sub>は、その自然光と同様の変化を受けつつ増強させられる。すなわち、第1レーザ光L<sub>1</sub>の変調と同様ではあるが位相反転させられた変調を受けて増幅させられる。

#### 【0028】

第1光サーチュレータ20は、第1光増幅素子26から出力された光を、第3光ファイバF<sub>3</sub>ではなく、第1波長選択素子28を備えた第4光ファイバF<sub>4</sub>へ導く。第1波長選択素子28は、前記第1光増幅素子26に接続され、その第1光増幅素子26から出力された光のうちから第2波長λ<sub>2</sub>である1548nmの光を抽出する。この第1波長選択素子28は、光フィルタ素子として機能するものであり、たとえば紫外線が局部的に照射されることにより、第4光ファイバF<sub>4</sub>の一部が長手方向において屈折率が周期的に変化させられたファイバーグレーティングフィルタであって、第2波長λ<sub>2</sub>を中心波長とし且つ半値幅が1nmの光を選択して透過させるものである。なお、第1波長選択素子28は、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトニックバンドギャップを有するフォトニッククリスタルのいずれかから構成されてもよい。

#### 【0029】

第2光カプラ30は、第2光入力手段として機能するものであり、上記第1波長選択素子28により第1光増幅素子26から出力された光のうちから選択された第2波長 $\lambda_2$ の光と、たとえば図3の中段の波形に示す第3波長 $\lambda_3$ の制御光である第3レーザ光L3とを重畠（合波）し、第5光ファイバF5および第2光サーキュレータ32を介して第1光増幅素子26と同様に構成された第2光増幅素子34へ入力させる。この第2光増幅素子34では、変調された第2波長 $\lambda_2$ は、その第2波長 $\lambda_2$ を中心とする自然光の波長範囲内の第3波長 $\lambda_3$ の制御光によってさらに変調を受け、第3波長 $\lambda_3$ に関しては、図3の下段に示す波形とされる。第2光サーキュレータ32は、第2光増幅素子34から出力された光を、第5光ファイバF5へではなく、第2光フィルタ素子36を備えた第6光ファイバF6へ導く。上記第2光フィルタ素子36は、第2光増幅素子34から出力された光のうちから第3波長 $\lambda_3$ の光を選択し、図3の下段に示す出力光L4として出力する。図3において、中段の波形に示す制御光L3の実線、1点鎖線、破線は、下段に示す出力光L4の実線、1点鎖線、破線に対応しており、出力光L4は制御光L3に対して約30倍のゲイン（増幅率）を有している。

### 【0030】

図4および図5は、上記のようにして構成された光信号増幅3端子装置10の特性を示している。図4は、第1入力光である第1レーザ光L1の信号強度P<sub>IN</sub>を示す横軸と出力光である第4レーザ光L4の信号強度P<sub>OUT</sub>を示す縦軸とからなる二次元座標において、制御光L3の信号強度P<sub>C</sub>をパラメータとする第4レーザ光L4の入出力特性図である。図から明らかなように、トランジスタなどのような3端子増幅素子と同様に、出力光である第4レーザ光L4の信号強度P<sub>OUT</sub>は、制御光L3の信号強度P<sub>C</sub>の変化に応答し、且つその変化が増幅されて変調させられるとともに、第1入力光である第1レーザ光L1の信号強度P<sub>IN</sub>の変化に応答し、且つその変化が増幅されて変調させられる。また、図5は、第1入力光である第1レーザ光L1の周波数を示す横軸と出力光である第4レーザ光L4の信号変調度H（%）を示す縦軸とからなる二次元座標において、その第4レーザ光L4の周波数特性を示している。図5によれば、5GHzまでは信号変調度Hの低下が見られなかった。上記信号変調度Hはたとえば次式(1)により表さ

れる。但し、 $I_{\max}$  は光信号の最大値、 $I_{\min}$  は光信号の最小値である。なお、前記活性層 26c に量子ドットが用いられる場合には、100 GHz 以上の範囲において信号変調度 H の低下が見られない。

### 【0031】

$$H = 100 \times (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}) \dots \dots (1)$$

### 【0032】

なお、本発明者の実験によれば、上記制御光 L<sub>3</sub> を第3波長  $\lambda_3$  から第1波長  $\lambda_1$  へ変更することにより、第1波長  $\lambda_1$  の出力光 L<sub>4</sub> が得られるとともに、上記と同様の光信号增幅効果結果が得られた。また、上記においては、第2レーザ光 L<sub>2</sub> の第2波長  $\lambda_2$  は第1レーザ光 L<sub>1</sub> よりも短波長であったが、その第2レーザ光 L<sub>2</sub> の第2波長  $\lambda_2$  を第1レーザ光 L<sub>1</sub> よりも長波長としても上記と同様の光信号增幅効果結果が得られただけでなく、たとえば図 3 の下段の波形の最低値が零に近づくというような、出力光 L<sub>4</sub> の基線が第1レーザ光 L<sub>1</sub> と同様に零に近接するという更なる効果が認められた。また、第1波長  $\lambda_1$  の第1入力光 L<sub>1</sub> を第2波長  $\lambda_2$  の第2レーザ光 L<sub>2</sub> と同様に連続光（バイアス光）として、第3波長  $\lambda_3$  の第3入力光 L<sub>3</sub> に信号変調をかけると、第3波長  $\lambda_3$  の出力光 L<sub>4</sub> は、その第3入力光 L<sub>3</sub> の信号が 10 以上の増幅率で増幅されたものとして出力された。

### 【0033】

さらに、本発明者の実験によれば、前記半導体製の第1光増幅素子 26 および第2光増幅素子 34 に替えて、たとえば石英系或いは弗化物系ガラスなどの光透過媒体である光ファイバ内に、たとえばエルビウム元素などの希土類元素がドープされることにより、3準位系または4準位系のエネルギー準位がその光透過媒体内に構成された光増幅素子を用いても、前記の実施例と同様の効果が得られた。この光増幅素子は、エルビウム元素およびアルミニウムがドープされることにより 1700 ppm 程度の比較的高濃度のエルビウムイオン Er<sup>3+</sup> および 1000 ppm 程度のアルミニウムイオン Al<sup>3+</sup> を含む 20 m 程度の長さのガラス製光ファイバから構成されているので、エルビウムドープドファイバアンプ（EDFA）とも称される。

### 【0034】

図6(a)は、上記光信号増幅3端子装置10が適用された2つの光NANDゲート50から構成されたフリップフロップ回路52を示し、図6(b)は2つの光NORゲート54から構成されたフリップフロップ回路56を示している。電子回路におけるNANDゲートおよびNORゲートはよく知られているように複数のトランジスタから構成されており、そのトランジスタに替えて上記光信号増幅3端子装置10が光回路中に設けられることにより光NANDゲート50およびNORゲート54が構成され、それら1対の光NANDゲート50および1対の光NORゲート54からフリップフロップ回路52および56が構成される。このフリップフロップ回路52および56によれば、光により情報が記憶される。

### 【0035】

図7は、前記光信号増幅3端子装置10が適用された光演算増幅器（光オペレーショナルアンプ）58を示している。電子回路における演算増幅器はよく知られているように複数のトランジスタから構成されており、そのトランジスタに替えて上記光信号増幅3端子装置10が光回路中に設けられることにより、光演算増幅器56が構成される。

### 【0036】

以上のように構成された図1の光信号増幅3端子装置10においては、第1波長 $\lambda_1$ の第1入力光L<sub>1</sub>と第2波長 $\lambda_2$ の第2入力光L<sub>2</sub>とが入力された第1光増幅素子26からの光から選択された第2波長 $\lambda_2$ の光と、第3波長 $\lambda_3$ の第3入力光（制御光）L<sub>3</sub>とが第2光増幅素子34へ入力させられるとき、その第2光増幅素子34から出された光から選択された第3波長 $\lambda_3$ の出力光L<sub>4</sub>は、前記第1波長 $\lambda_1$ の第1入力光L<sub>1</sub>および／または第3波長 $\lambda_3$ の第3入力光L<sub>3</sub>の強度変化に応答して変調された光であって、その第3波長 $\lambda_3$ の第3入力光（制御光）L<sub>3</sub>に対する信号増幅率が2以上の大きさの増幅信号となるので、光信号の増幅処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置10を得ることができる。

### 【0037】

また、本実施例の光信号増幅3端子装置10によれば、前記第1波長 $\lambda_1$ の第

1入力光L<sub>1</sub>は変調光であり、前記第2波長λ<sub>2</sub>の第2入力光L<sub>2</sub>は連続光であり、前記第3波長λ<sub>3</sub>の第3入力光L<sub>3</sub>は制御光であり、前記第3波長λ<sub>3</sub>の出力光L<sub>4</sub>は、その制御光L<sub>3</sub>の入力区間においてその第1入力光L<sub>1</sub>の変調信号が増幅された信号波形を備えたものであることから、第3波長λ<sub>3</sub>の出力光L<sub>4</sub>は、制御光L<sub>3</sub>の入力区間において第1波長λ<sub>1</sub>の第1入力光L<sub>1</sub>の強度変化に応答して変調された増幅光となるので、増幅された光信号のスイッチング処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置10を得ることができる。

#### 【0038】

また、本実施例の光信号増幅3端子装置10によれば、第1波長λ<sub>1</sub>の第1入力光L<sub>1</sub>および第2波長λ<sub>2</sub>の第2入力光L<sub>2</sub>は連続光であり、第3波長の第3入力光は変調光であり、前記第3波長λ<sub>3</sub>の出力光L<sub>4</sub>は、該第3波長λ<sub>3</sub>の第3入力光L<sub>3</sub>の変調信号が増幅された信号波形を備えたものであることから、第3波長λ<sub>3</sub>の出力光L<sub>4</sub>は、第3入力光λ<sub>3</sub>の強度変化に応答して変調された増幅光となるので、光信号の増幅処理を第3入力光L<sub>3</sub>を入力させることにより直接行うことができる光信号増幅3端子装置を得ることができる。

#### 【0039】

また、本実施例では、前記第1波長λ<sub>1</sub>と第3波長λ<sub>3</sub>とは、同じ波長とすることもできることから、光信号増幅3端子装置10の信号入力光としての第1入力光L<sub>1</sub>及び第3入力光L<sub>3</sub>と、出力光L<sub>4</sub>とが同じ波長となるので、共通の波長で複数の光信号増幅3端子装置10を接続することが可能となり、複数個の光信号増幅3端子装置10を用いて集積度の高い光回路を構成することができる。

#### 【0040】

また、本実施例では、前記第2波長λ<sub>2</sub>は、前記第1波長λ<sub>1</sub>よりも長波長とすることができますので、このような場合には、変調された第1入力光L<sub>1</sub>の増幅光である出力光L<sub>3</sub>が示す波形が、その第1入力光の波形の基線と同様に零レベルに近い基線となる利点がある。すなわち、変調度を大きくする利点がある。

#### 【0041】

また、本実施例では、第3波長λ<sub>3</sub>の出力光L<sub>4</sub>の第3波長λ<sub>3</sub>の制御光L<sub>3</sub>

に対する信号増幅率は、10以上の値であるので、光信号増幅3端子装置の増幅機能が一層高められ、その応用範囲が拡大される。

#### 【0042】

また、本実施例では、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34は、p n接合から構成される活性層26cを備えた半導体光増幅素子であることから、信号増幅率および応答速度が一層高められた光信号増幅3端子装置10が得られる。

#### 【0043】

また、本実施例では、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34の活性層26cは、量子井戸または量子ドットから構成されたものであることから、一層高い信号増幅率および速い応答速度を備えた光信号増幅3端子装置10が得られる。特に量子ドットを用いた場合には100GHz以上の応答速度が得られる。また、活性層として歪み超格子を用いると偏波依存性が小さくなる。

#### 【0044】

また、本実施例では、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34は、活性層26cを通過した光を反射するために金属蒸着などにより形成されたミラーなどの反射手段26dをその一端面に備え、他端面を通して入力光が入力され且つ出力光が取り出されるものであることから、1端面に備えられたミラーなどの反射手段26dによって活性層26cにおける通過パスが実質的に長くされるので、信号増幅率が一層高められる。また、フィードバック効果によって一層変調度が高められる。

#### 【0045】

また、本実施例では、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34の他端面を通してその中に入力光を入力させ、その他端面を通して出力される光を該入力光とは異なる光路へ導く光サーキュレータ20および32が設けられていることから、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34の他端面から出た光はその他端面へ入力させる光を導く導波路に入ることがなく、専ら他の出力用導波路に導かれる。

#### 【0046】

また、本実施例では、第1波長選択素子28および／または第2波長選択素子36は、導波路または光ファイバ内の光伝播方向において屈折率が周期的に変化させられたグレーティングフィルタ、屈折率が異なる多数組の層が積層されて成る多層膜フィルタ、フォトニックバンドギャップを有するフォトニッククリスタルのいずれかから構成されたものであることから、第1光増幅素子26或いは第2光増幅素子34からの光から第2波長 $\lambda_2$ 或いは第3波長 $\lambda_3$ が好適に抽出される。

#### 【0047】

また、前述の光信号増幅3端子装置10では、第1光増幅素子26および／または第2光増幅素子34は、希土類元素が添加された光ファイバからも構成されることができる。このような場合には、光を伝播させる光ファイバの途中に前記第1光増幅素子および／または第2光増幅素子が構成される利点がある。

#### 【0048】

また、前述の光信号増幅3端子装置10は、光NANDゲート50、その一対の光NANDゲート50から成る光フリップフロップ回路52、または光演算増幅器56を構成することができ、光集積回路の機能を高めることができる。

#### 【0049】

また、本実施例の第1光増幅素子26において、第2波長 $\lambda_2$ は第1波長 $\lambda_1$ の第1入力光L1の周囲光の波長域内の波長であり、第2光増幅素子34において、第3波長 $\lambda_3$ は、第2波長 $\lambda_2$ の入力光の波長域内の波長であるので、第1光増幅素子26或いは第2増幅素子34からの出力光に含まれる第2波長 $\lambda_2$ 或いは第3波長 $\lambda_3$ の信号が好適に増幅される。

#### 【0050】

以上、本発明の一実施例を図面に基づいて説明したが、本発明はその他の態様においても適用される。

#### 【0051】

たとえば、前述の実施例の第1光増幅素子26は、エルビウム元素を含むガラス製光ファイバ(EDFA)から構成されてもよいが、プラセオジムが添加(ドープ)された光ファイバであってもよい。この場合においては、光信号増幅3端

子装置10は、1. 3 μm帯の波長で利用可能となる。

### 【0052】

また、前述の光信号増幅3端子装置10において、第1光カプラ18および第2光カプラ30、第1光増幅素子26および第2光増幅素子34、第1波長選択素子28および第2波長選択素子36などの構成部品は、光を導く光ファイバF<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>6</sub>により連結されていたが、半導体基板またはガラス基板のような透光性物質製基板の上に形成された光導波路などにより結合されてもよい。

### 【0053】

なお、上述したのはあくまでも本発明の一実施例であり、本発明はその主旨を逸脱しない範囲において種々変更が加えられ得るものである。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

本発明の一実施例の光信号増幅3端子装置の構成を説明するブロック図である。

#### 【図2】

図1の実施例における光増幅素子が半導体光増幅素子により構成された場合の外形を示す斜視図である。

#### 【図3】

図1の光信号増幅3端子装置の作動を説明するタイムチャートであり、上段は第1入力光の波形を示し、中段は制御光の波形を示し、下段は出力光の波形を示している。

#### 【図4】

図1の光信号増幅3端子装置の入出力特性を示す図である。

#### 【図5】

図1の光信号増幅3端子装置の出力信号の周波数特性を示す図である。

#### 【図6】

図1の光信号増幅3端子装置によって構成される光フリップフロップ回路を示す図であって、(a) は一対の光NANDゲートから構成される光フリップフロッ

プ回路、(b) は一対の光NORゲートから構成される光フリップフロップ回路をそれぞれ示している。

### 【図7】

図1の光信号増幅3端子装置によって構成される光演算増幅回路を示す図である。

#### 【符号の説明】

10：光信号増幅3端子装置

18：第1光カプラ（第1光入力手段）

20：光サーキュレータ

26：第1光増幅素子（第1光増幅素子）

26c：活性層

26d：反射手段

28：第1波長選択素子

30：第2光カプラ（第2光入力手段）

32：光サーキュレータ

34：第2光増幅素子（第2光増幅素子）

36：第2波長選択素子

50：光NANDゲート

54：光NORゲート

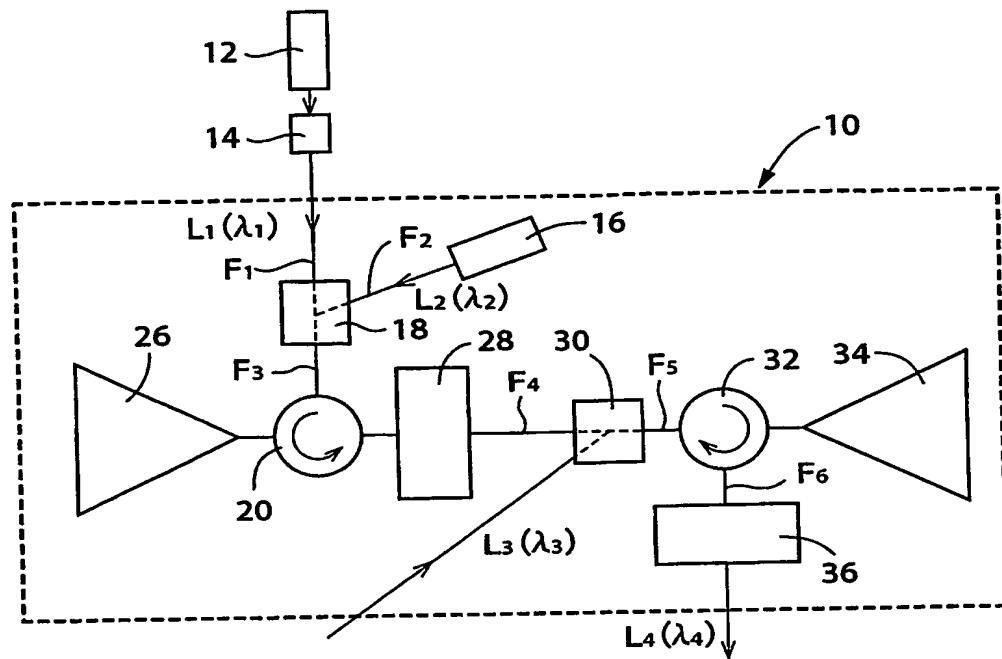
52、56：光フリップフロック回路

58：光演算増幅器

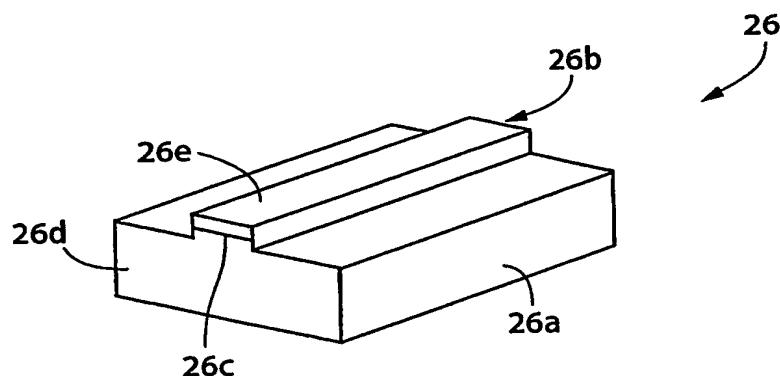
【書類名】

図面

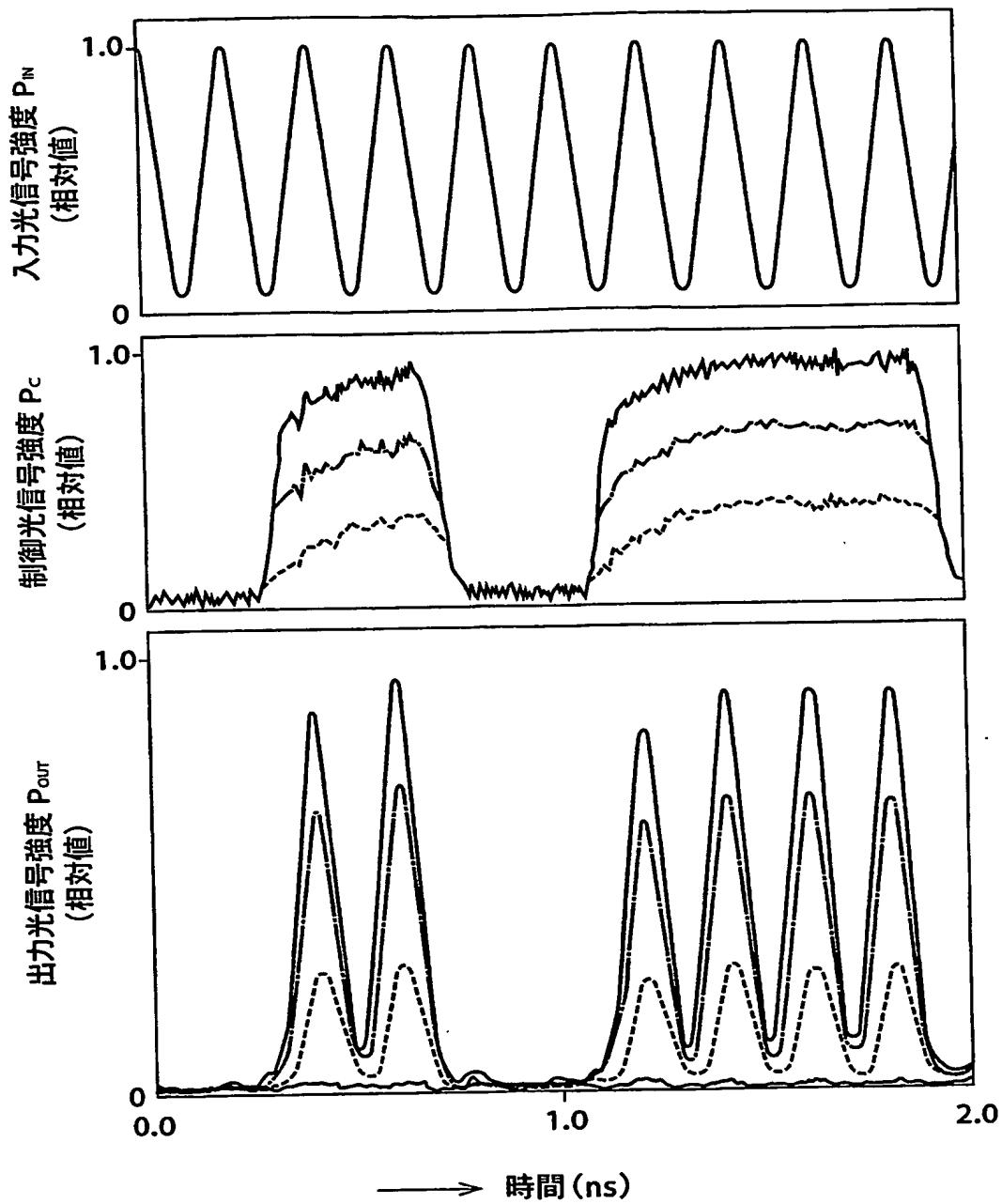
【図1】



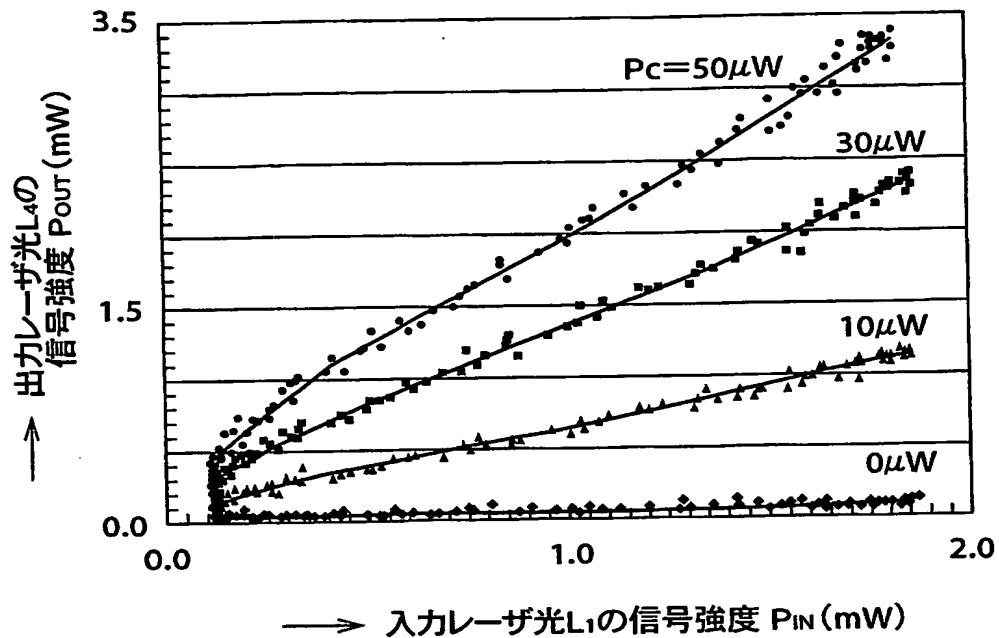
【図2】



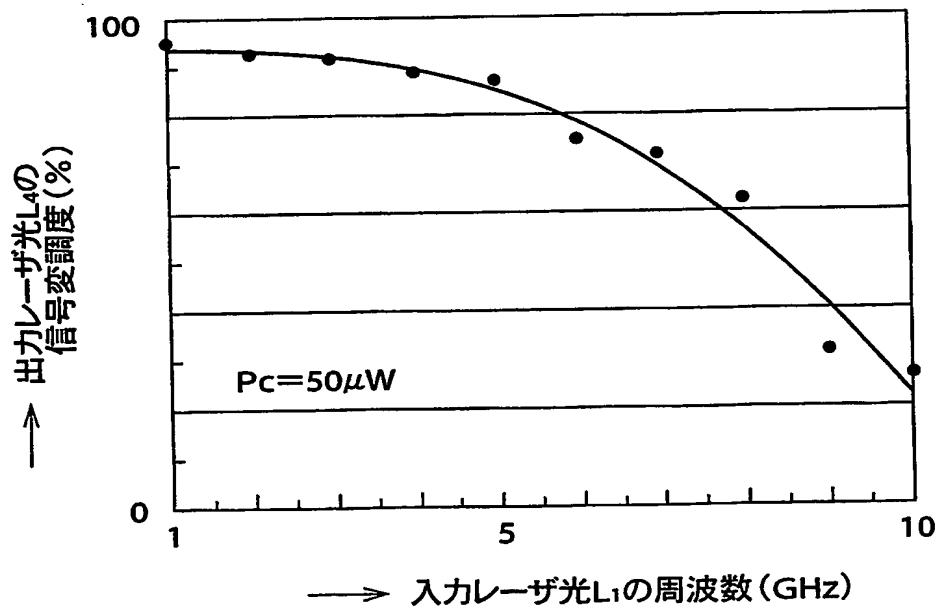
【図3】



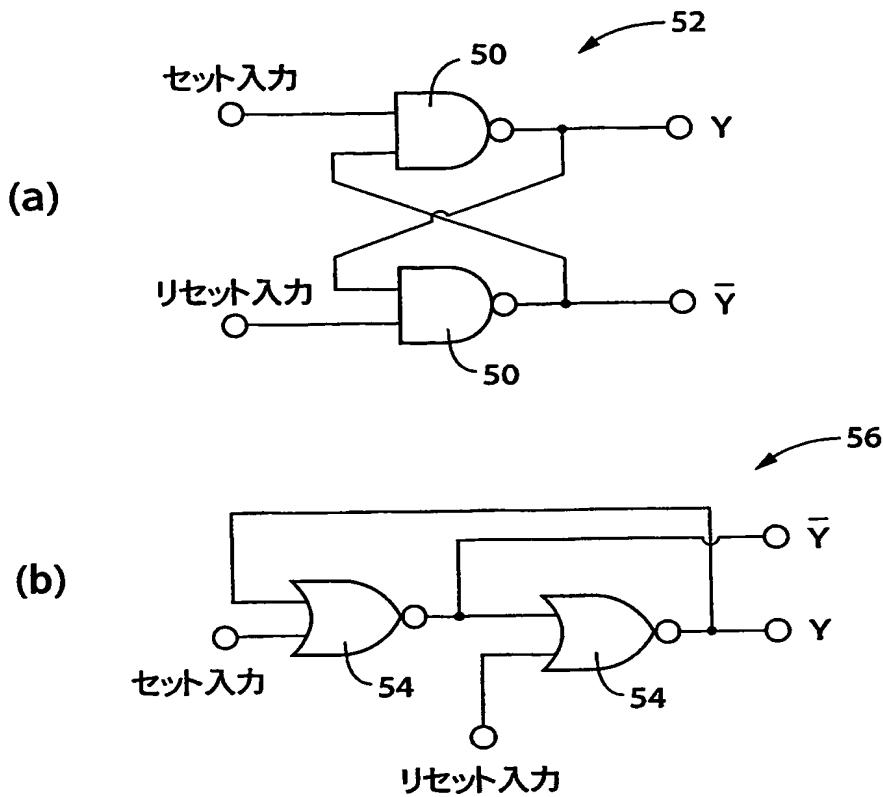
【図 4】



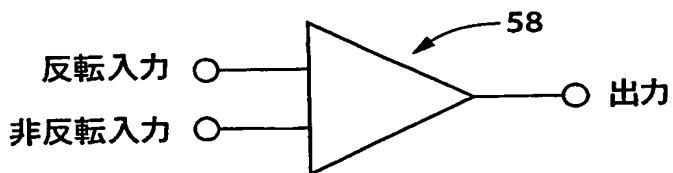
【図 5】



【図6】



【図7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光信号の増幅処理を制御光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置を提供する。

【解決手段】 光信号増幅3端子装置10においては、第1波長 $\lambda_1$ の第1入力光L<sub>1</sub>と第2波長 $\lambda_2$ の第2入力光L<sub>2</sub>とが入力された第1光増幅素子26からの光から選択された第2波長 $\lambda_2$ の光と、第3波長 $\lambda_3$ の第3入力光（制御光）L<sub>3</sub>とが第2光増幅素子34へ入力させられるとき、その第2光増幅素子34から出された光から選択された第3波長 $\lambda_3$ の出力光L<sub>4</sub>は、前記第1波長 $\lambda_1$ の第1入力光L<sub>1</sub>および／または第3波長 $\lambda_3$ の第3入力光L<sub>3</sub>の強度変化に応答して変調された光であって、前記第3波長 $\lambda_3$ の第3入力光（制御光）L<sub>3</sub>に対する信号増幅率が2以上の大きさの増幅信号となるので、光信号の増幅処理を制御入力光を用いて直接行うことができる光信号増幅3端子装置10を得ることができる。

【選択図】 図1

## 認定・付加情報

特許出願の番号 特願2002-308946  
受付番号 50201598681  
書類名 特許願  
担当官 第一担当上席 0090  
作成日 平成14年10月24日

## &lt;認定情報・付加情報&gt;

【提出日】 平成14年10月23日

次頁無

特願 2002-308946

出願人履歴情報

識別番号 [396020800]

1. 変更年月日 1998年 2月24日

[変更理由] 名称変更

住所 埼玉県川口市本町4丁目1番8号  
氏名 科学技術振興事業団